

Evaluation of the characteristics of surface ice layer of Çıldır Lake

Çıldır Gölü'nün yüzey buz tabakası özelliklerinin değerlendirilmesi

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 6 Sayı: 2 (2020) 158-180

Hande Mahide YEŞİLMADEN^{1,2,*}, Bedri KURTULUŞ¹, Özgür AVŞAR¹,
Hakan AKSU³, Murat Ersen AKSOY¹

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 48000, Muğla, Türkiye

²Université Bordeaux Montaigne, Sciences et Technologies (Terre, Eau, Image), F-33607 France

³Samsun Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun, Türkiye

ABSTRACT

The frozen lake strength is important for transportation or annual sportive activities as winter festival at the Çıldır Lake which is the second biggest lake in the Eastern Anatolia Region of Turkey. Potential hazards need to be identified and steps must be taken to eliminate the hazards or control them to provide health and safety of the public usage. Therefore, the determination of the freezing mechanism and crack structure of the lake is the main scope of the study. Within this context, Çıldır Lake was evaluated by in different ways as ground surveying measurements meteorological measurements and remote sensing methods. Landsat 8 OLI satellite images were used for thermal calculations and controlled classification, and meteorological data and ice thickness measurements were carried out

within the scope of ground measurements. Ice thickness measurements were interpolated and Landsat 8 OLI data based B1 band which is used especially for coastal and aerosol-based studies and thermal analysis results was evaluated together. Also, the common ice safety formula of Gold (1960) was used which depends on the ground measurements of the ice thickness. The results showed that the fracture structure of the lake is variable, the ice cover should be monitored and analyzed before every winter term. According to the formula of Gold (1960), the maximum load calculations that can be carried depending on the ice thickness of the surface are presented.

Keywords: Remote sensing, ice fracture, ice load

Article Info

Received: 02 July 2020

Revised: 20 July 2020

Accepted: 20 July 2020

* (corresponding author)

E-mail: hndyesil@gmail.com

ÖZET

Doğu Anadolu Bölgesi'nin ikinci büyük gölü olan Çıldır Gölü'nde kış festivalleri, sportif faaliyetler ve ulaşım amaçlı olarak kullanım açısından donmuş göl yüzeyinin dayanımının bilinmesi önemlidir. Potansiyel tehlikeler tanımlanmalı, halkın sağlık ve güvenliğini sağlamak için tehlikeleri ortadan kaldırmak veya kontrolünü sağlamak için adımlar atılmalıdır. Bu nedenle gölün donma mekanizmasının ve çatlak yapısının belirlenmesi çalışmanın ana kapsamıdır. Bu bağlamda, Çıldır Gölü yersel ölçümler ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Termal hesaplamalar ve denetimli sınıflama için Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmış olup yersel ölçümler kapsamında meteorolojik hesaplamalar ve buz kalınlığı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Buz kalınlığı ölçümlerinin enterpolasyonu yapılarak Landsat 8 OLI verisinin özellikle kıyı ve aerosol bazlı çalışmalar için kullanılan B1 bandı ve termal analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. Ayrıca buz güvenlik hesaplamalarında yaygın olarak kullanılan bir formül olan Gold, 1960'ın formülü ölçülen buz kalınlıklarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Sonuçlar göldeki kırık yapısının değişken olduğunu, buz örtüsünün her kış döneminden önce izlenip analiz edilmesi gerektiğini göstermiştir. Gold, 1960'ın formülüne göre, buz kalınlığına bağlı olarak taşınabilecek maksimum yük hesaplamaları ortaya konmuştur.

Anahtar sözcükler: Uzaktan algılama, buz kırıkları, buz yükü

1. GİRİŞ

Dünya yüzeyindeki su, hidrolojik döngünün önemli bir parçasıdır. Su kaynakları arasında yüzey suları, yeraltı suları, göller, iç sular, nehirler, kıyı suları ve akiferler bulunur. Göl dinamiklerini izlemek, dünyadaki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini desteklemek için kritik öneme sahiptir. Göller, atmosferik, yüzey ve yeraltı suyu dahil olmak üzere hidrolojik sistemin üç ana bileşeni ile etkileşime girmektedir. Göl sularının kimyasal özellikleri su girişleri, çıkışlar ve buharlaşma ile yakından ilgilidir.

Kükrer vd. (2015) 'de yaptıkları çalışmada Çıldır Gölü'ndeki 16 istasyondan Eylül 2011 ve Temmuz 2013'de toplanan örneklerle gölde ve kaynak sularında ölçülen ortalama, minimum ve maksimum değerler ile Türkiye Yüzeysel Su Kalitesi Düzenleme limitleri Tablo 1'de karşılaştırılmıştır. Gölün iz elementleri

bakımından (Ni, Cu, Zn, Cd, Hg ve Pb) 1. Sınıf su kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir (Alkan vd., 2016). Kükrer vd. (2015) tarafından Ağustos 2013'te 6 noktadan alınan çökel örneklerine göre ağır metallerin çözeltideki dikey dağılımı incelenmiştir. Pb, As ve Cd elementleri için, orta derecede bir kirlenme seviyesi tespit edilirken, Mn için orta ila yüksek konsantrasyon seviyesi elde edilmiştir. En yüksek kirlenme seviyesi Hg için tespit edilmiştir. Cd ve Hg gölde potansiyel bir risk faktörü olduğu düşünülen tek metal olarak belirtilmiştir (Kükrer vd., 2015).

Sonuç olarak incelenen alanda kentleşme ve sanayinin yokluğuna rağmen, sonuçlar da fosil yakıtların kullanımı ve tarımsal faaliyetler nedeniyle Çıldır Gölü'nün yüzey çökellerinde antropojenik kaynaklı (insanların neden olduğu) metal kirlenmesinin varlığını ortaya konulmuştur. Bu yüzden gelecekte Çıldır Gölü ekosistemi için potansiyel bir risk olması çok muhtemel

olduğu ortaya konmuştur (Kükrer *vd.*, 2014).

Göletlerin, göllerin ve nehirlerin donmuş yüzeylerinde çalışmak veya seyahat etmek için buz örtüsünün üzerindeki yükün güvenli bir şekilde destekleyebildiğinden emin olunmalıdır. Buz tabakası güvenliğinden bahsederken üzerinde durulacak noktalar; yükün durağan olarak kalacağı süre yani yük süresi, buz örtüsü tipi ve yük ağırlığıdır. Buz örtüsü tipi, bir tehlike değerlendirmesi yaparken ve uygun tehlike yönetimini belirlerken kilit bir bileşendir. Genellikle mavi buz olarak adlandırılan tatlı su buzunu, doğal bir oluşum olup göl ve nehirler oluşur. Mavi buzun tüm yüzeyleri mukavemet bakımından benzer olabilmektedir. Beyaz buz veya kar buzunu hava kabarcığı içeriğinden dolayı beyazdır ve daha düşük kalitededir. En düşük mukavemet ve kaliteye sahip buz çeşitleri, cüruf buzunu ve buz yığılmasıdır. (GOA, 2013).

Yüzey örtüsü tiplerini sınıflandırmak ve değişiklikleri analiz etmek, uzaktan algılamanın en yaygın uygulamalarından olup, Landsat görüntüleri, su kaynakları için sıkça tercih edilen veri kaynakları arasındadır. Su sınırlarını belirlemek ve uzaktan algılanan görüntülerdeki su varlığını görsel olarak zenginleştirmek için yansıyan yöntemler uzun sürelerdir kullanılmaktadır (Rundquist *vd.*, 1987; Xu, 2006; McFeeters, 1996).

Çalışmanın amacı Çıldır Gölü'nün donma mekanizmasının uzaktan algılama ve yersel ölçümlerin beraber kullanılarak değerlendirilmesidir. Ayrıca buz yüzeyinin özelliklerinin tespit edilmesi ve yöre halkının donmuş göl kullanımının (aktivite veya ulaşım amaçlı) güvenli bir şekilde yapılması için gerekenler ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, göl genelinde yapılan çalışmalarla buz kalınlığı ölçümleri

Ardahan AFAD Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiştir. Uydu görüntüleri USGS'in (Amerika Birleşik Devletler Jeoloji Kurumu) sitesinden indirilen, Landsat 8 OLI uydusuna aittir. Termal hesaplamalar için Landsat 8 OLI uydu görüntülerinden Bant 10 kullanılmıştır. Buz kalınlıklarının enterpolasyonu yapılarak elde var olan değer noktalarından yola çıkarak bu noktalar arasında, farklı bir yerde ve değeri bilinmeyen bir noktadaki olası değerlerin hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (Setianto ve Triandini, 2013). Buz kalınlığı enterpolasyon yöntemi ile yersel veriler analiz edilmiş olup Landsat 8 OLI uydu görüntülerinden Bant 1 ile beraber yorumlanmıştır. Bant 1 üzerinden tespiti yapılan kırık-çatlaklar sınıflanarak göl geneli kırık-çatlak içeriği bakımından sınıflara ayrılmıştır.

2.1. Çalışma Alanı

Çıldır Gölü, Ardahan ilinin Çıldır ilçesi ile Kars ilinin Arpaçay ilçeleri arasında yer almakta olup, inceleme alanı (Çıldır Kristal Göl Uluslararası Kış Şöleni'nin yapıldığı alan) Ardahan ili Çıldır ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Göl; Ardahan il merkezine 48 km, Çıldır ilçe merkezine 7 km uzaklıktadır (41,04205N; 43,255277E) (Şimşek, 2019). Doğu Anadolu Bölgesi'nin Van Gölü'nden sonra ikinci büyük gölü olan Çıldır Gölü'nün yüz ölçümü 124 km², maksimum derinliği ise 42 m'dir. Çıldır Gölü deniz seviyesinden 1960 m yükseklikte bulunmakta olup göl havzası yaklaşık 640 km²'dir (Zengin *vd.*, 2012). Kuzey güney doğrultusundaki genişliği 18 km, doğu batı doğrultusundaki genişliği 16 km kadardır (Şimşek, 2019). Akbaba ve Kısır Dağları arasında tektonik çöküntü bölgesinde yer alan bir set gölüdür. Çevresindeki dağlardan gelen yüzey suları ile mevsimlik ve daimî akarsular gibi birçok kaynaktan beslenmektedir.



Şekil 1. Çıldır Gölü yer bulduru haritası

Göl yüzeyi kasım ayı sonlarında sert ve soğuk iklim koşulları nedeniyle donmaya başlamakta olup buz kalınlığının 1 m'nin üzerine çıktığı zamanlar olmaktadır. Buzun erimesi ise nisan ayı başlarında gerçekleşmektedir.

Gölde balıkçılık yapılmakta ve yöre halkı bu yolla gelir sağlamaktadır. Ayrıca turizm açısından da bir cazibe merkezi oluşturmakta, göl üzerinde kızak yarışları yapılmaktadır. Yakın zamanda gölün turizm açısından önemini artıracak bir gelişme ise Bakü-Tiflis-Kars demiryolunun hizmete açılacak olmasıdır (Şimşek, 2019).

2.2. Yersel Ölçümler

2.2.1. Buz Kalınlığı

Buz kalınlığı ölçümleri Ardahan AFAD Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. 05-06-

07 Şubat 2019 tarihlerinde donmuş gölün üstünde yaklaşık 20 cm çapında delikler açılarak buz kalınlığı ölçümleri ve su derinliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm yapılan noktadaki verilerin enterpolasyonu ile tüm göl yüzeyine ait bir kalınlık haritasını oluşturulması amaçlanmıştır. Tüm enterpolasyon yöntemleri, birbirine daha yakın olan noktaya dayanan teori temel alınarak geliştirilmiştir. IDW, ölçülmemiş herhangi bir yer için bir değer tahmin etmek, tahmin yerini çevreleyen ölçülen değerleri kullanarak bir sonuca ulaşmayı sağlamaktadır. IDW yönteminde esas olarak komşular arasındaki korelasyon ve benzerlik oranlarının, birbirleri arasındaki mesafeyle orantılı olduğu varsayılmaktadır. IDW komşu noktalardan her noktaya olan

mesafenin ters fonksiyonu olarak tanımlanabilir (Setianto ve Triandini, 2013). Belirli bir buz kalınlığı için buz taşıma kapasitesinin tahmini Gold'un formülü ile hesaplanmaktadır (1). Formül uygulamalı testler sonucu ortaya çıkmıştır (Gold, 1960).

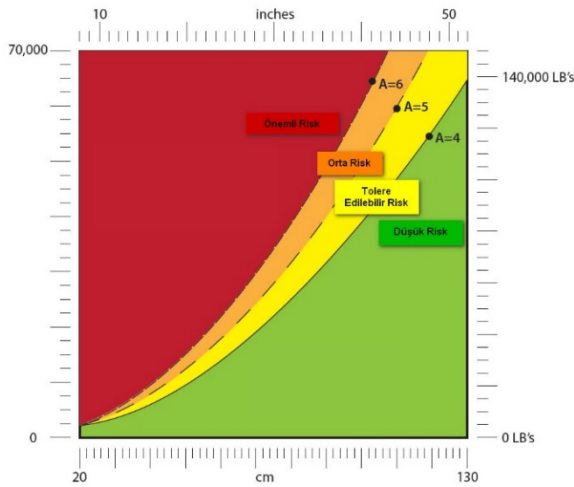
$$P = Axh^2 \quad (1)$$

P: İzin verilen yük (kg)

A: Buzun kalitesine, yükün geometrisine ve duruma uygun güvenlik faktörüne bağlı bir sabit

h: İyi kalitede buzun etkin kalınlığı (cm)

Gold (1960), göldeki buz tabakasında kullanılmak üzere bir dizi güvenli buz kalınlığı veya belirli bir buz kalınlığı için kabul edilebilir yük aralığına karşılık gelen bir A değeri önermektedir. Gold'un formülünün ağırlığa bağlı buz kalınlığı değerleri ve risk sınırları Şekil 2'deki grafikte gösterilmektedir. Yüksek A değerlerinde kırılma riski için ek tehlike kontrolleri eklenmelidir. Kışın şiddetli uzun geçtiği Kanada gibi ülkeler de yaygın olarak kullanılan buz üzerinde güvenli çalışma kitapçıklarında tehlike kontrol mekanizmaları da kullanarak Gold'un formülünün 2 ayrı tabloyla beraber incelenmesini önermektedir (Tablo 1 ve Tablo 2).



Şekil 2. Buz taşıma kapasitesi grafiği (Government of Alberta, 2013)

Tablo 1. İzin verilebilir yük ve etkili buz kalınlığı (Government of Alberta, 2013)

İzin Verilen Yük P (kg)				
h (cm)	A=3,5	A=4	A=5	A=6
	Düşük Risk	Tolere edilebilir Risk	Orta Risk	Önemli Risk
20	1400	*	*	*
25	2200	*	*	*
30	3150	*	*	*
35	4300	4900	6120	7350
40	5600	6400	8000	9600
45	7100	8100	10100	12100
50	8750	10000	12500	15000
55	10600	12100	15100	18100
60	12600	14400	18000	21600
65	14800	16900	21100	25300
70	17100	19600	24500	29400
75	19700	22500	28100	33700
80	22400	25600	32000	38400
85	25300	28900	36100	43300
90	28300	32400	40500	48600
95	31600	36100	45100	54100
100	35000	40000	50000	60000
105	38600	44100	55100	63500
110	42300	48400	60500	**
115	46300	52900	63500	**
120	50400	57600	**	**
125	54700	62500	**	**
127	56450	63500	**	**

*Tablo 2'ye bakılmalı.

**Profesyonel bir mühendisin tavsiyesi alınmalı

Tablo 2. Hafif yükler için minimum buz kalınlığı (Government of Alberta, 2013)

Yük ve Durumu (Yavaş Hareketli Yük)	Minimum Etkin Kalınlık (cm)
Yürüyen insan (120 kg)	10
Kar motosikletleri (Azami ağırlık araç + sürücü <500 kg)	18
¾ ton 4x4 araç (Maksimum brüt araç ağırlığı 5000kg)	38

2.2.2. İklim

Çıldır ilçesinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) kurulmuştur. Göl ve çevresinin iklim özelliklerini vermesi açısından Çıldır OMGİ istasyonlarının değerleri esas alınmaktadır. Çıldır OMGİ verileri MGM'den temin edilmiş ve bu çalışma kapsamında 2016, 2017 ve 2018 yılları verileri kullanılmıştır.

Ardahan MGM İstasyonu kayıtları 1958-2018 yıllarını kapsamaktadır. Ardahan istasyonu ile göl arasındaki mesafe yaklaşık 48 km'dir. Bu nedenle karşılaştırma yapabilmek amacıyla Ardahan MGM uzun yıllar ortalama, minimum ve maksimum meteoroloji ölçüm kayıtları Tablo 3'de sunulmuştur.

2.3. Uzaktan Algılama Çalışmaları

Uygulamada kullanılan uydu Landsat 8 OLI olup, 09.02.2019 tarihine ait uydu görüntüsü kullanılarak hesaplamalar ve analizler gerçekleştirilmiştir. Landsat 8 uydusu Dünya'ya güneş-eşzamanlı (sun-synchronous), kutuplara yakın bir yörüngede, 705 km yükseklikte, 98.2 derecede eğimde bulunmaktadır. Her 16 günde bir Dünya'yı görüntülemektedir. İndirilen görüntü formatı GeoTIFF, 30 m konumsal çözünürlük, Evrensel Enlem Merkatoru projeksiyonu ve Dünya Jeotetik Sistemi ve 84 datumuna sahiptir.

Landsat 8, Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) içerir (URL-1). Landsat 8 OLI sensörü pankromatik ile birlikte 9 spektral bant, TIRS sensörü ile de 2 termal bantta toplam 11 bantta sahiptir (Tablo 3). Landsat 8 OLI su kaynakları ve kıyı bölgesi araştırması için özel olarak tasarlanmış koyu mavi görünür bir kanal (Bant 1) ve sirüs bulutlarının tespiti için yeni bir kısa dalga kızılötesi kanal (Bant 9) ile su ve bulut analizleri için iyileştirmeler sağlamaktadır. Ayrıca Landsat 8 OLI Termal Kızılötesi 1 (Bant 10) kullanılarak yüzey sıcaklıkları hesaplanabilmektedir (Çaldırak ve

Kurtuluş, 2018).

2.3.1. Termal Analizler

Termal analizler için kullanılan yöntem; Landsat 8 OLI uydu görüntülerinden Bant 10 TIRS'nin Dijital Numara (DN) değerlerinin sıcaklık değerine dönüştürmesi için öncelikle DN değerleri, Atmosfer Parlaklığı Sıcaklığı'na (TOA) dönüştürülür ve ardından TOA değerlerini kullanarak sıcaklık değerleri denklem (2), (3), (4) ve (5)'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Çaldırak ve Kurtuluş 2018).

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

L_{λ} : Atmosfer Üstü (TOA) spektral radyansı ($W (m^2 \times ster \times \mu m)$)

M_L : Meta verilerden gruba özgü çarpımsal ölçeklendirme faktörü

A_L : Meta verilerden bant spesifik katkı yeniden ölçeklendirme faktörü

Q_{cal} : Kantitatif ve kalibre edilmiş standart ürün piksel değerleri (DN)

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

K_1 ve K_2 değerleri termal bant dönüşüm için sabit olup, T ise Kelvin biriminden yansıma sıcaklığıdır.

TB: Atmosferin üstü yansıma sıcaklığı (Kelvin)

L_{λ} : Atmosfer üstü (TOA) spektral radyansı

K_1 : Meta verilerden banda özel termal dönüşüm sabiti

K_2 : Meta verilerden banda özel termal dönüşüm sabiti

$$LST = \frac{TB}{1 + \left(\frac{TB}{\rho}\right) \times \ln \varepsilon} \quad (4)$$

LST: Yüzey sıcaklığı (°C)

TB: Siyah cisim için ölçülen sıcaklık

ε : Emisivite

λ : Yayılan ışığın dalga boyu (Landsat 8 Bant 10 için $\lambda = 12$, (Markham and Barker 1985))

ρ : $1.438 \times 10^{-2} \text{ m K}$

$$\rho = (hxc)/\sigma \quad (5)$$

σ : Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} J/K)

h : Planck sabiti (6.626×10^{-34} J s)

c : Işık hızı (2.998×10^8 m/s)

Hesaplanan sıcaklık Kelvin biriminden olduğu için elde edilen sonuca 273.15 eklenerek Santigrat dereceye çevrilmektedir.

2.3.2. Denetimli Sınıflandırma

Görüntü sınıflandırma prosedürleri, multi-spektral pikselleri farklı arazi örtüsü

sınıflarına sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Denetimli ve denetimsiz sınıflama olarak sınıflandırma yaklaşımları ikiye ayrılabilir. Denetimsiz sınıflamada pikseller herhangi bir örneklem kullanılmadan kümeleme algoritmaları ile farklı spektral sınıflara ayrılmaktadır. Denetimli sınıflama ise iki temel adımda gerçekleşmektedir. Operatör, veri setinin spektral ve dokusal özelliklerini tanımlayan eğitim sınıflarını belirleyerek sayısallaştırır. İkinci basamak olan sınıflandırma aşamasında veri setinin her bir pikseli bir arazi örtüsü sınıfına kategorize edilmiş olur.

Tablo 3. Ardahan MGM uzun yıllar iklim gözlem istatistikleri (URL-2)

ARDAHAN	O	Ş	M	N	M	H	T	A	Eyl	Eki	K	A	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1958 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-11,2	-9,8	-3,3	4,6	9,5	13	16,4	16,3	12,3	6,7	-0,1	-7,6	3,9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-5	-3,3	2,7	10,8	16,1	20,1	23,9	24,6	20,7	14,3	6,3	-2	10,8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-16,8	-15,9	-8,9	-1,2	3,2	5,8	8,8	8,5	4,3	-0,1	-5,5	-12,7	-2,5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,5	3,4	4,7	5,1	6,3	7,9	8,3	8	7,1	5,1	3,7	2,4	64,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	9,6	9,8	11,6	13,7	17,1	15,5	11,5	11	7,7	9,8	9	9,8	136,1
Aylık Toplam Yağış Miktarı	19,8	20,5	31	51,2	83,6	93,7	69,9	62,6	35,3	37,5	27,9	22,8	555,8
Ortalaması (mm)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	11	11	18,4	25	26,4	29,1	34,3	35	31,3	26	18,2	14	35
En Düşük Sıcaklık (°C)	-39,8	-38,7	-33,2	-22,2	-8,5	-4,5	-2,2	-2,8	-5,8	-15	-28,9	-36,3	-39,8

Tablo 4. Landsat 8 bant özellikleri (URL-1)

<i>Operasyonel Arazi Görüntüleyici</i>			
Bant No	Bant Adı	Dalga Boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant 1	Koyu Mavi (Kıyı / Aerosol)	0.43 - 0.45	30
Bant 2	Mavi	0.45 - 0.51	30
Bant 3	Yeşil	0.53 - 0.59	30
Bant 4	Kırmızı	0.64 - 0.67	30
Bant 5	Yakın Kızılötesi (NIR)	0.85 - 0.88	30
Bant 6	Kısa Dalga Boylu Kızılötesi 1 (SWIR1)	1.57 - 1.65	30
Bant 7	Kısa Dalga Boylu Kızılötesi 2 (SWIR2)	2.11 - 2.29	30
Bant 8	Pankromatik	0.50 - 0.68	15
Bant 9	Cirrus	1.36 - 1.38	30
<i>Termal Kızılötesi Sensör</i>			
Bant 10	Termal Kızılötesi 1 (TIRS 1)	10.6 - 11.19	100
Bant 11	Termal Kızılötesi 2 (TIRS 2)	11.5 - 12.51 μm	100

Sınıflandırma için kullanılan minimum uzaklık, paralel-epiped veya maksimum olasılık sınıflandırması gibi birçok farklı yaklaşım vardır (Walter, 1998). En yaygın olarak kullanılan yaklaşım maksimum olasılık sınıflandırmasıdır. Maksimum olasılık sınıflandırması her görüntüdeki her bir piksel için tüm eğitim sınıflarını değerlendirerek göreceli olarak sınıf ataması olasılıklarını hesaplamaktadır. Daha sonra sonuçta ortaya çıkacak en muhtemel sınıf kimliğini çıktı görüntüsüne atama gerçekleştirmektedir (Bolstad ve Lillesand, 1990).

3. BULGULAR

3.1. Yersel Çalışma Sonuçları

3.1.1. Buz Kalınlığı Ölçümleri ve Enterpolasyonu

05-06-07 Şubat 2019 tarihlerinde Ardahan AFAD Müdürlüğü Çıldır Gölü'nde koordinatları işaretli konumlardan (Şekil 3) buz kalınlığı ve su derinliği ölçümleri yapılmıştır (Tablo 5). Buz kalınlıklarının ölçüm verileri kullanılarak buz kalınlığı verileri ile tüm göl yüzeyi için IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı Yöntem) kullanılarak buz

kalınlıklarının enterpolasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Enterpolasyon yorumlanırken Landsat 8 OLI'ye ait özel bir bant olan Bant 1, su kaynakları ve kıyı bölgesi araştırması için özel olarak tasarlanmış koyu mavi görünür bant kullanılmıştır.

Gold'un formülüne göre buz kalınlıkları değerlendirildiğinde, A değerinin kullanımına bakılacak olunursa; buz örtüsü boyunca 15000kg'lık yük taşınması gereken bir durumda yükün buz üzerinde kısa süre tutulması mümkün süre az olduğundan risk arttırılarak A değeri yüksek seçilebilir. Yüksek risk alınıp A değerinin 6 seçilir ise minimum buz kalınlığının 50 cm olması gerektiği Tablo 1'de ortaya konulmaktadır. Alternatif olarak buz üzerinde bulunacak süre az olmasına rağmen riski minimize etmek için A değeri 3,5 seçilerek minimum buz kalınlığı 70 cm olarak Tablo 1'den bakılmaktadır. Tablo 1'de A=3,5'dan yüksek olduğu ve buz kalınlığının 20 ila 30 cm arasında olduğu durumlarda Tablo 2'den yararlanılması önerilmektedir (GOA, 2013).

Tablo 5. Çıldır Gölü buz kalınlık ölçümleri

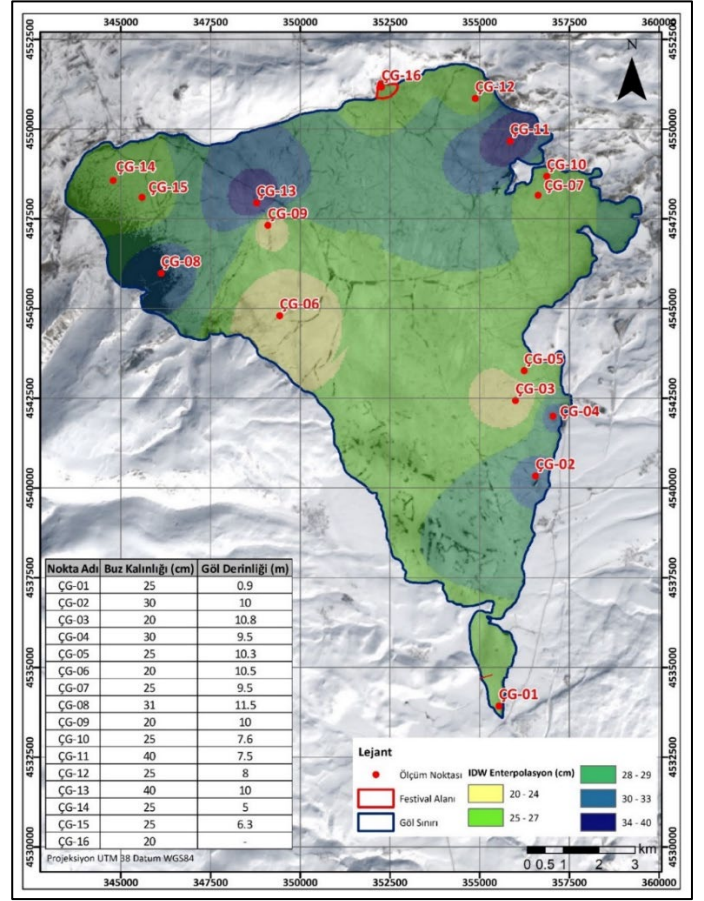
Nokta Adı	Tarih	Buz Kalınlığı (cm)	Göl Derinliği (m)
ÇG-01	7.2.2019	25	0.9
ÇG-02	7.2.2019	30	10
ÇG-03	6.2.2019	20	10.8
ÇG-04	7.2.2019	30	9.5
ÇG-05	6.2.2019	25	10.3
ÇG-06	5.2.2019	20	10.5
ÇG-07	6.2.2019	25	9.5
ÇG-08	5.2.2019	31	11.5
ÇG-09	5.2.2019	20	10
ÇG-10	6.2.2019	25	7.6
ÇG-11	7.2.2019	40	7.5
ÇG-12	7.2.2019	25	8
ÇG-13	5.2.2019	40	10
ÇG-14	6.2.2019	25	5
ÇG-15	6.2.2019	25	6.3
ÇG-16	2.3.2019	20	-

3.1.2. İklim

Ardahan ilinin tamamı (Çıldır dahil) Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre kış mevsiminin soğuk, yaz mevsiminin ılık geçtiği ve her mevsim yağışlı nemli orta enlem iklim tipi içerisinde yer alır (Öztürk vd., 2017).

Thornthwaite sınıflandırmasına göre ise, Ardahan meteoroloji istasyonunun bulunduğu alan yarı nemli, su noksanının çok az olduğu (yok denecek kadar az), ikinci dereceden mikrotermal iklim tipi içerisinde yer alır (Çiçek, 1995).

Ardahan ilinde ortalama sıcaklıklar kasım ve mart ayları boyunca 0°nin altında seyrederek. En düşük sıcaklıklar ise tüm yıl boyunca negatif değerler göstermektedir. Çıldır yöresinde, içerisinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesinde de olduğu gibi karasal iklim hüküm sürmektedir. Yazları kısa ve serin ve kışlar ise soğuk ve uzun geçmektedir.

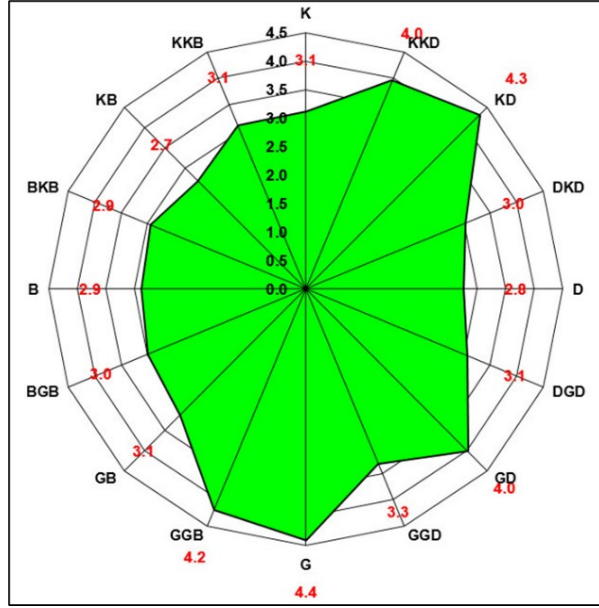


Şekil 3. IDW buz kalınlığı enterpolasyon sonuçları

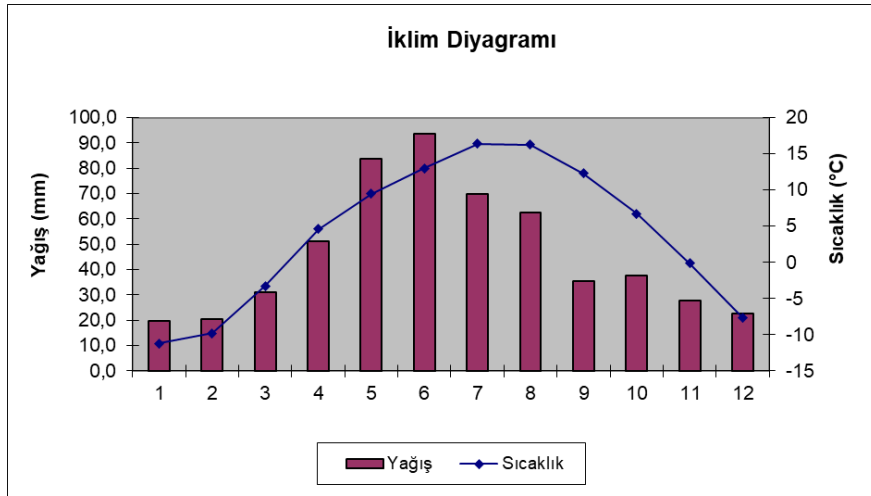
Özellikle kış aylarında Sibiryaya Yüksek Basınç Sistemi'nin etkisi altındadır ve sistem, kış aylarında yağışların az olmasına ve kuzeyli rüzgârlara neden olmaktadır. Günlük ortalama rüzgâr yön ve şiddetlerinin analizinden Çıldır yöresinde kuzey yönlü ve mutedil rüzgârların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 4). Ülkemizin büyük bölümünde kış yağışlarının yıllık yağışlara katkısı büyük olsa da çalışma alanının dâhil olduğu Doğu Anadolu Bölgesinde yağışlar ilkbahar ve yaz aylarında yoğunlaşmıştır (Şekil 5). Bununla birlikte ilkbahar ve sonbahar mevsimleri çok kısa sürmektedir. Ardahan MGM İstasyonu kayıtlarına göre yörede gözlenen en düşük sıcaklık -38,7 °C (21.01.1972) tarihinde gözlenmiştir. Ardahan MGM kayıtlarına göre uzun yıllar ortalama yağışlı gün sayısı 136 gündür. Mevsimlere göre yağışların %41'i yaz ve %30'u ise ilkbahar mevsiminde gerçekleşmektedir (Öztürk ve Kılıç, 2018).

Ardahan MGM kayıtlarında ortalama yıllık sıcaklık 3.9 °C iken (1958-2018), Çıldır OMGİ için (2016-2018) ortalama sıcaklık

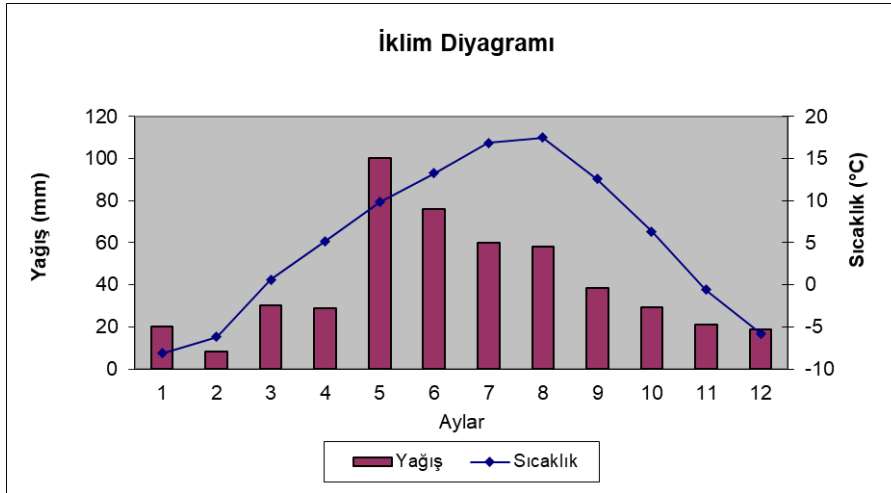
5,1 °C olarak gözlenmektedir (Tablo 6). Gölün yörenin ortalama sıcaklığına etkisi olduğu düşünülmektedir (Şekil 6)



Şekil 4. Çıldır OMGİ rüzgâr hız dağılımı



Şekil 5. Ardahan iklim grafiği



Şekil 6. Çıldır iklim diyagramı

Tablo 6. Çıldır Ortalama Sıcaklık ve Yağış Tablosu (2016-2018)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık Toplam
Yağış	20,2	8,40	30,1	29,0	100	75,8	60,0	58,0	38,3	29,23	21,3	19,0	489,6
Sıcaklık	-8,1	6,2	0,6	5,2	9,8	13,2	16,9	17,4	12,6	6,3	-0,6	-5,8	5,1

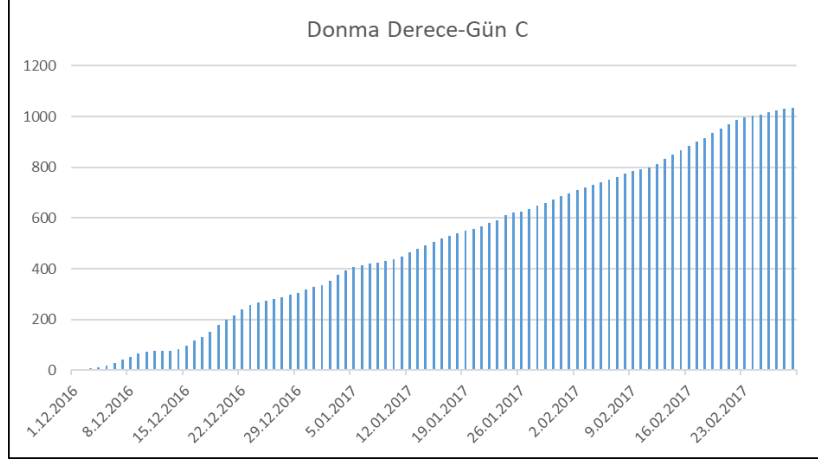
3.1.3. Donma Derece Gün Hesaplaması

Hava sıcaklığı ile buz fenolojisi arasındaki ilişki iyi kurulmuştur (Bilello, 1980; Palecki ve Barry, 1986; Stewart ve Magnuson, 2009; Williams, 1965). Bir gölde hava sıcaklığını takip ederek donma ve erime konusunda tahminler yapılması mümkün olabilmektedir. Bu bilgilerle birlikte buz kalınlıkları bilgisinin de olması, ampirik bir ilişki kurulmasıyla buz kalınlıklarının belirlenmesine imkân vermektedir.

Duguay vd. (2006) 0 °C izotermi ve buz fenolojisi arasında yüksek bir zamansal ilişki bulunduğunu belirtmişlerdir. Çıldır Gölü için Donma-Derece Gün hesaplaması Çıldır OMGİ istasyonunun yeni kurulmuş olması nedeniyle 2016 Aralık ve 2017 yılı Şubat sonu itibariyle hesaplanmıştır (Şekil 7). Buzlanma, şiddeti ve sıklığını en doğru ve pratik bir şekilde veren yöntemlerin başında da donma derece-gün gelmektedir.

DDG değerleri donma periyodunun uzunluğu hakkında bilgi vermektedir.

Göldeki buz kalınlıkları ölçüm verileri mevcut ilişkiyi oluşturabilecek miktarda değildir (Duguay vd., 2006). Veriler yalnızca 2019 Şubat ayına ait birkaç günü kapsamaktadır. Donma-Derece Gün, göl yüzeyinin donması ve buzun kalınlığının zaman içerisinde artışını göstermesi açısından, buz kalınlıkları ile ilişkilendirilebilirse faydalı bilgiler verebilecektir. Buz kalınlıklarını etkileyen diğer önemli parametreler ise yüzeyin karla kaplı oluşu ve rüzgârdır. Meteorolojik parametrelerin temel etkisi su veya buz yüzeyinden ısı kaybını artıracak veya azaltacak yönde ısı transferine neden olmaktır. Çıldır Gölü için Donma Derece Gün Grafiği Şekil 7'de sunulmuş, hesaplama sonuçları ise Tablo Ek 1'de verilmiştir.



Şekil 7. Çıldır Gölü donma derece gün hesaplaması

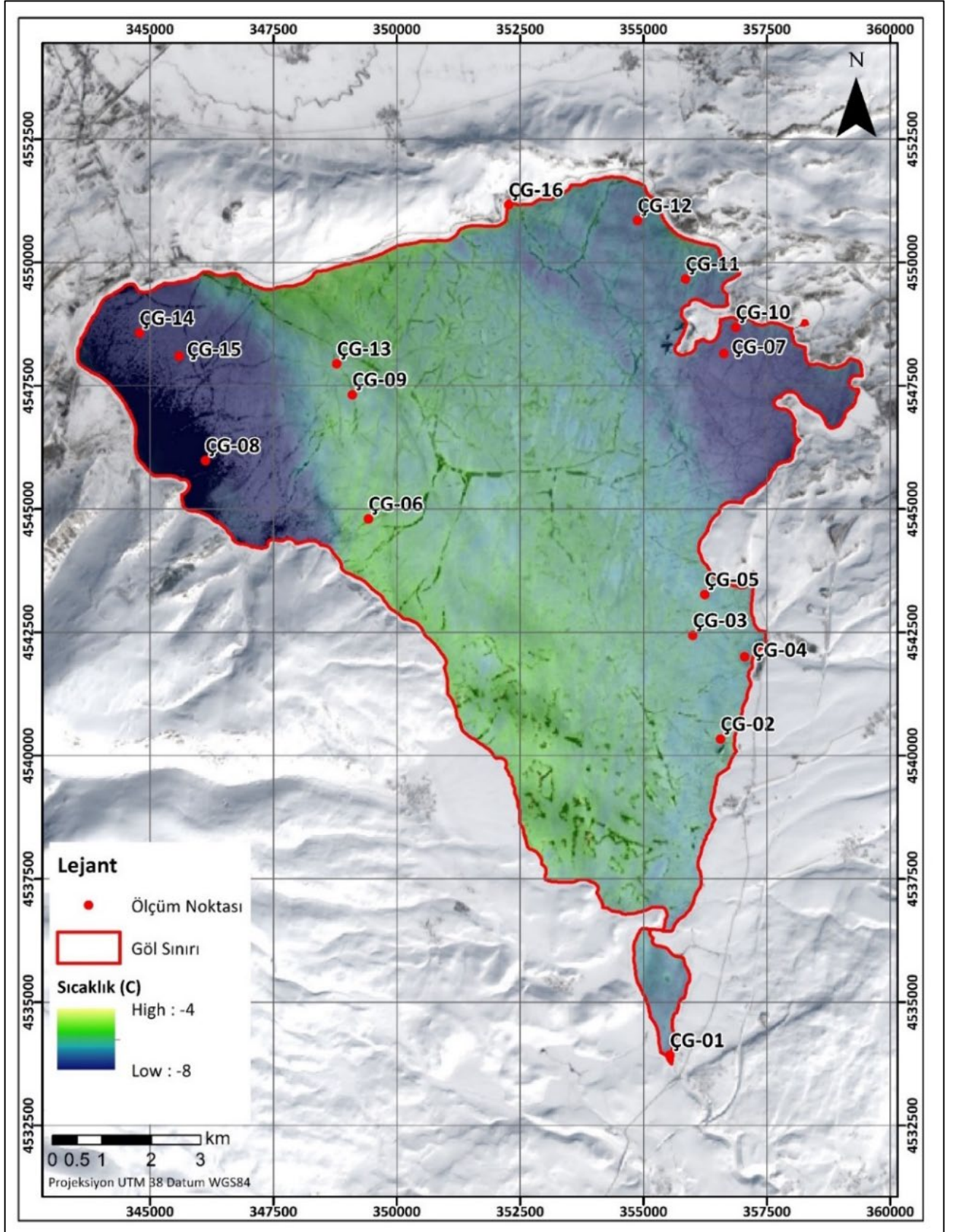
3.2. Uydu Görüntüleri Çalışma Sonuçları

3.2.1. Termal Analizler

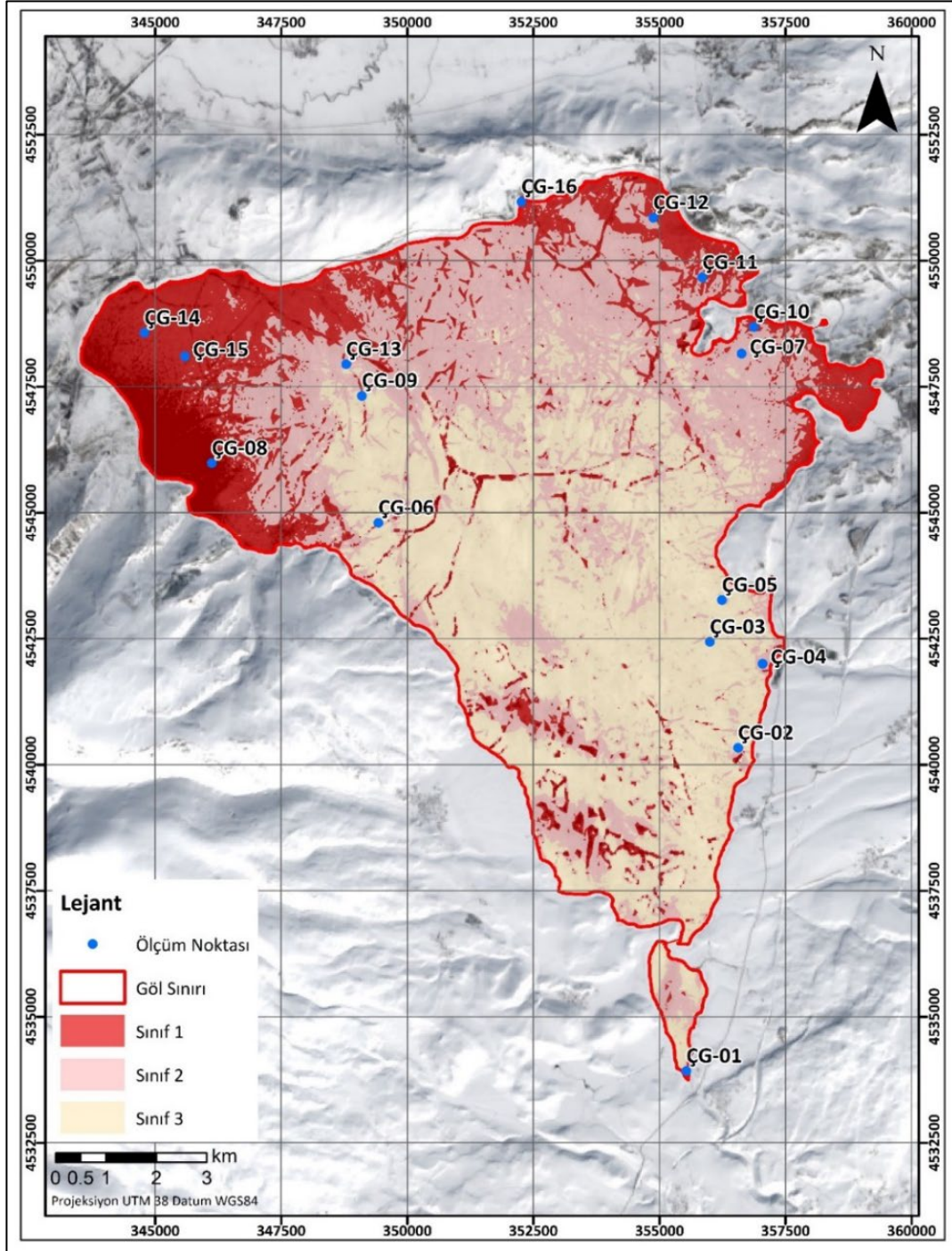
Termal analiz hesaplamalarının tümü ArcGIS platformunda yapılmış olup, ModelBuilder ile oluşturulan modelde termal sıcaklık hesaplaması gölün tamamını kapsayacak şekilde modele yerleştirilmiş olup, termal harita oluşturulmuştur (Şekil 8).

3.2.2. Denetimli Sınıflandırma

Bu çalışmada, B1 bandı denetimli sınıflandırması yapılırken maksimum sınıflaması yaklaşımı kullanılmıştır. Veri setinin her bir pikseli ArcGIS yazılımı kullanılarak arazi örtüsü sınıfına kategorize edilmiştir. Buz örtüsü 3 sınıfa ayrılmıştır. Sınıf 1 kırıklı çatlaklı yapıyı en çok içeren bölge, sınıf 2 orta derecede kırıklı çatlaklı yapı içeren bölge ve sınıf 3 ise kırıklı çatlaklı yapı içermeyen olarak ayrılmıştır (Şekil 9).



Şekil 8. Çıldır Gölü termal haritası



Şekil 9. Kırık-Çatlak bölgelerinin sınıflandırma sonuçları

4. TARTIŞMA

Çıldır Gölü'nde yapılan yersel ölçümler harita üzerinde her bir örnek noktası koordinatlı olarak işaretlenmiş ve ölçülen değerler harita üzerindeki tabloda gösterilmiştir. 16 noktada yapılan buz kalınlığı ölçümlerine enterpolasyon yapılarak göl geneli hakkında bilgi verecek bir buz kalınlığı enterpolasyon haritası oluşturulmuştur (Şekil 3).

Buz kalınlığı ölçüm noktalarının dağılımının homojen olmamasından dolayı örnek noktalarına uzak bölgeler için kesin bir sonuca varılamamaktadır. ÇG-8, ÇG-13, ÇG-11 numaralı örneklerin oluşturduğu hat olan doğu batı doğrultusu buz kalınlığı enterpolasyon sonuçlarına göre buz kalınlığının en yüksek olduğu bölgelerdir.

Yersel buz kalınlığı ölçümlerden alınan örneklerle göre, birbirine yakın ÇG-9 ve ÇG-13 numaralı noktalara bakıldığında, ÇG-9'da buz kalınlığı 20 cm iken ÇG-13'de 40 cm olarak ölçülmüş olup göl derinlikleri ikisinde de aynıdır. Bu da göldeki buz kalınlıklarının mesafeden bağımsız olarak değişken olduğunu göstermektedir.

Gold formülü'nün (Gold, 1960) uygulanması durumunda, 20 cm'lik buz kalınlığı için, $A=3.5$ yani düşük risk şartlarında, 1400 kg yük taşıyabileceği hesaplanmaktadır (Tablo 2).

Termal hesaplamalara göre göl -8 ile -4 °C arasında değerler almaktadır. Doğu ve batı kıyılarına doğru yüzey sıcaklığını düşüğü gözlenirken, kuzey ve güney kıyılar için belirgin bir değişim gözlenmemektedir. Festival alanında ise sıcaklık -6 °C ile -3 °C arasında değişmekte olup, kıyıya yaklaştıkça yüzey sıcaklığının arttığı görülmektedir (Şekil 8).

Buz kalınlığı enterpolasyon sonuçları ile termal analiz sonuçları birbirini destekler niteliktedir. Gölün genel durumuna bakıldığında doğu ve batı kıyılarında yüzey sıcaklıkları düşüken (Şekil 8) buz kalınlığı enterpolasyon haritasına (Şekil 3) göre doğu ve batı kıyılarında buz kalınlıkları yüksektir. Buz kalınlığının dayanımı yüzey sıcaklığının düşmesiyle doğru orantılı bir

şekilde olmaktadır. Ancak buz kalınlığının yüzey sıcaklığının düşük olduğu ortamlar da farklı kalınlıklar vermesi buz kalınlıklarının ölçülmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Landsat 8 OLI'nin su kaynakları ve kıyı bölgesi araştırması için özel olarak tasarlanmış koyu mavi görünür bantı olan Bant 1'e göre yapılan sınıflandırma sonuçlarına göre gölün geneli 3 sınıfa ayrılmıştır. Kırıklı çatlaklı yapıyı en çok içeren alanlar sınıf 1, orta derecede kırıklı çatlaklı yapı içeren alanlar sınıf 2 ve sınıf 3 ise kırıklı çatlaklı yapı içermeyen alanlar olarak ayrılmıştır. Göl üzerindeki kırık çatlakların dayanıma olan etkisini hesaplayabilmek için daha fazla yersel buz kalınlığı ölçümüne ihtiyaç vardır (Şekil 9). 06.02.2019, 21.01.2019, 29.12.2018, tarihlerine ait B1 bant aylara göre haritalarından buz çözünmesine bağlı kırık sistemi incelenebilmektedir (Şekil Ek I, Şekil Ek II ve Şekil Ek III). Farklı yılların aynı aylarına bakıldığında çözünme ve donma sistemlerinin farklı olduğu gözlenmektedir.

5. SONUÇLAR

Buz kalınlıkları ölçümlerinin değerlendirmelerine bakıldığında beyaz buz tipindeki göldeki buz örtüsü için, 20 cm buz kalınlığının altındaki buz üzerinde bulunulmamalıdır. Bu yüzden donmuş buz yüzeyinin kullanılacağı zamanlar buz kalınlığının en az 20 cm olduğundan emin olunmalıdır. Buzun üzerinde bulunacak ağırlıklar hesaplanmalıdır ve izin verilebilir yük ve etkili buz kalınlığı tablosu (Tablo 2) kullanılarak buz kalınlığı ile taşınabilir yük arasındaki ilişki kontrol edilmelidir.

Her sene buz üzerinde etkinlik planlanmadan önce burgu deliciler kullanılarak, buz kalınlığı tespiti kullanılacak alanı temsil edecek ölçekte ölçüm yapılması önerilmektedir. Yersel ölçüm noktalarına göre buz kalınlığı birbirine yakın mesafelerde dahi çok değişkendir. Bu yüzden yersel ölçümler homojen dağılımlı olarak yapılmalıdır.

Meteorolojik faktörlere bağlı olarak, her yılın donma ve çözünme mekanizması farklı olduğundan (Şekil Ek I, Şekil Ek II ve Şekil Ek III) yıllık ve/veya aylık olarak bölgede yersel ve uzaktan algılama analizleri yapılmalıdır.

İleriki çalışmalarda gölün buz kalınlıkları ile ilgili olarak düzenli bir izleme ağı oluşturulabilir. İzleme ağları gölde yatay düzeyde yerleştirilecek olan termal sondalar ve göl üzerinde buz sıcaklıklarının ölçülmesiyle mümkün olacaktır. Bu veriler ile gölün buzlanma yapısı hakkında detaylı bilgilere ulaşabilmek mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Ardahan İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Müdürlüğü'ne yersel ölçüm verileri için teşekkür ederiz.

AÇIKLAMA BİLDİRİMİ

Yazarlar bu makalede çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

ORCID Numaraları

Hande Mahide YEŞİLMADEN:

 <https://orcid.org/0000-0003-1321-1459>

Bedri KURTULUŞ:

 <https://orcid.org/0000-0001-6646-9280>

Özgür AVŞAR:

 <https://orcid.org/0000-0002-1254-7922>

Hakan AKSU:

 <https://orcid.org/0000-0003-4686-7446>

Murat Ersen AKSOY:

 <https://orcid.org/0000-0002-7778-2018>

6. KAYNAKLAR

Kükrer, S., Erginal, A.E., Şeker, S., Karabıykoğlu, M., (2015). Distribution and Environmental Risk Evaluation of Heavy Metal in Core Sediments from Lake Çıldır (NE Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* 187 (7): 1-14.

Alkan, A., Gokcek, C., Akbas, U., Alkan, N., (2016). Spatial Distributions of Heavy Metals in the Water and Sediments of Lake Çıldır, Turkey. *Ekoloji* 98: 9-16

Kükrer, S., Şeker, S., Abacı, Z.T., Kutlu, B., (2014). Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Northern Littoral Zone of Lake Çıldır, Ardahan, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 186(6): 3847-3857

Government of Alberta (GOA), (2013). Best Practice for Building and Working Safely on Ice Covers in Alberta.

Rundquist, D., Lawson, M., Queen, L., Cerveny, R., (1987). The Relationship between the Timing of Summer-Season Rainfall Events and Lake-Surface Area. *Water Resources Bulletin* 23: 493-508.

Xu, H., (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27(14): 3025-3033.

Mcfeters, S.K., (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17(7): 1425-1432.

Setianto A., Triandini T., (2013). Comparison Of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Methods in Lineament Extraction and Analysis. *J. SE Asian Appl. Geol.* 5(1): 21-29.

Şimşek O., (2019). Çıldır ve Aktaş Gölleri Havzasında Bazı Coğrafi Gözlemler.

Zengin M., Yerli S.V., Dağtekin M., Akpınar İ.Ö., (2012). Çıldır Gölü Balıkçılığında Son Yirmi Yılda Meydana Gelen Değişimler. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi* 8(2): 10-24

Gold, L. W., (1960). Field Study on The Load Bearing Capacity of Ice Covers, Woodlands Review, *Pulp Pap-Canada*, 61(5): 3-7

URL-1, Landsat 8, (2020). 01.07.2020, <https://landsat.usgs.gov/landsat-8>

Çaldırak, H., Kurtuluş, B., (2018). Evidence of Possible Recharge Zones for Lake Salda (Turkey). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 46(9): 1353-1364

URL-2, Resmi İstatistikler, (2020). 01.07.2020, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>

Walter, V., (1998). Automatic Classification of Remote Sensing Data for GIS Database Revision, GIS-Between Visions and Applications, IAPRS, Stuttgart, 32(4).

Bolstad, V.P., Lillesand, M.T., (1990). Rapid Maximum Likelihood Classification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 67-74.

Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G., Aydın, S., (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. İstanbul Üniversitesi Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi* 35: 17-27.

Çiçek, İ., (1995). Türkiye'de Kurak Dönemin Yayılışı ve Süresi (Thomthwaite Metoduna Göre). *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi* 4: 77-102.

Öztürk, M. Z. ve Kılıç, H. (2018). İklim Parametrelerindeki Değişimin Zamansal Analizi, *Türk Coğrafya Dergisi* 70:37-43.

Bilello M.A., (1980). *Maximum Thickness and Subsequentdecay of Like, River and Fast Sea Ice in Canada and Alaska*. US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, CRREL, Report 80-6.

Palecki M.A., Barry R.G., (1986). Freeze-Up and Break-Up of Lakes As an Index Of Temperature Changes During Thetransition Seasons: A Case Study For Finland. *Journal of Climate and Applied Climatology* 25: 893–902.

Stewart K.M. & Magnuson, J.J. (2009). Ice. In: “Encyclopedia of Inland Waters”, (G. Likens ed.), Oxford: Academic Press, pp. 664–670.

Williams, G.P., (1965) Correlating Freeze-Up and Break-Up with Weather Conditions. *Canadian Geotechnical Journal* 2: 313–326.

Duguay, C.R., Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Brown, R.D., Lacroix M.P., Menard P., (2006). Recent Trends in Canadianlake Ice Cover. *Hydrological Processes* 20: 781–801.

EK I

Tablo Ek I. Çıldır Gölü donma derece gün tablosu

Yıl	Ay	Gün	Sıcaklık			Donma Derece Gün	Toplam Donma Derece Gün
			Min.	Maks.	Ortalama		
2016	12	1	-2,1	2,1	-1	1	1
2016	12	2	-5,2	3,2	-0,2	0,2	1,2
2016	12	3	-10,5	-2,9	-5,3	5,3	6,5
2016	12	4	-8,4	1,6	-4,5	4,5	11
2016	12	5	-10,2	-1,7	-6,5	6,5	17,5
2016	12	6	-20,2	-6,4	-12	12	29,5
2016	12	7	-22	-5,7	-12,5	12,5	42
2016	12	8	-16,2	-7	-10,4	10,4	52,4
2016	12	9	-22	-4,2	-14,1	14,1	66,5
2016	12	10	-10,1	0,3	-5,4	5,4	71,9
2016	12	11	-5,2	-0,4	-3,1	3,1	75
2016	12	12	-4,2	1,9	-1,2	1,2	76,2
2016	12	13	-1,6	3,1	-0,1	0,1	76,3
2016	12	14	-10,6	0,5	-6	6	82,3
2016	12	15	-23	-7,1	-13,1	13,1	95,4
2016	12	16	-31,2	-12,9	-21,1	21,1	116,5
2016	12	17	-24,3	-6,6	-15,8	15,8	132,3
2016	12	18	-28,1	-13,3	-20	20	152,3
2016	12	19	-34,2	-18,3	-26,6	26,6	178,9
2016	12	20	-28,2	-9,3	-19,1	19,1	198
2016	12	21	-23,1	-10,1	-18,1	18,1	216,1
2016	12	22	-30,2	-12,7	-22,4	22,4	238,5
2016	12	23	-28,9	-7,7	-20	20	258,5
2016	12	24	-15,7	-4	-9,9	9,9	268,4
2016	12	25	-11,3	-1,8	-5,6	5,6	274
2016	12	26	-12,8	-1,5	-6,5	6,5	280,5
2016	12	27	-14	-3,4	-8	8	288,5
2016	12	28	-14,5	-5,8	-8,8	8,8	297,3
2016	12	29	-14,3	-4,7	-8,6	8,6	305,9
2016	12	30	-17,4	-6	-11,5	11,5	317,4
2016	12	31	-20,1	-3,1	-11	11	328,4
2017	1	1	-14,4	-3,2	-7,5	7,5	335,9
2017	1	2	-24,3	-12,5	-17,6	17,6	353,5
2017	1	3	-31,4	-14,3	-23,6	23,6	377,1
2017	1	4	-21,1	-8	-14,6	14,6	391,7
2017	1	5	-26,1	-8	-15,4	15,4	407,1
2017	1	6	-10,6	-2,5	-7,1	7,1	414,2
2017	1	7	-10,7	-2,3	-6	6	420,2
2017	1	8	-10,4	-0,2	-5,2	5,2	425,4

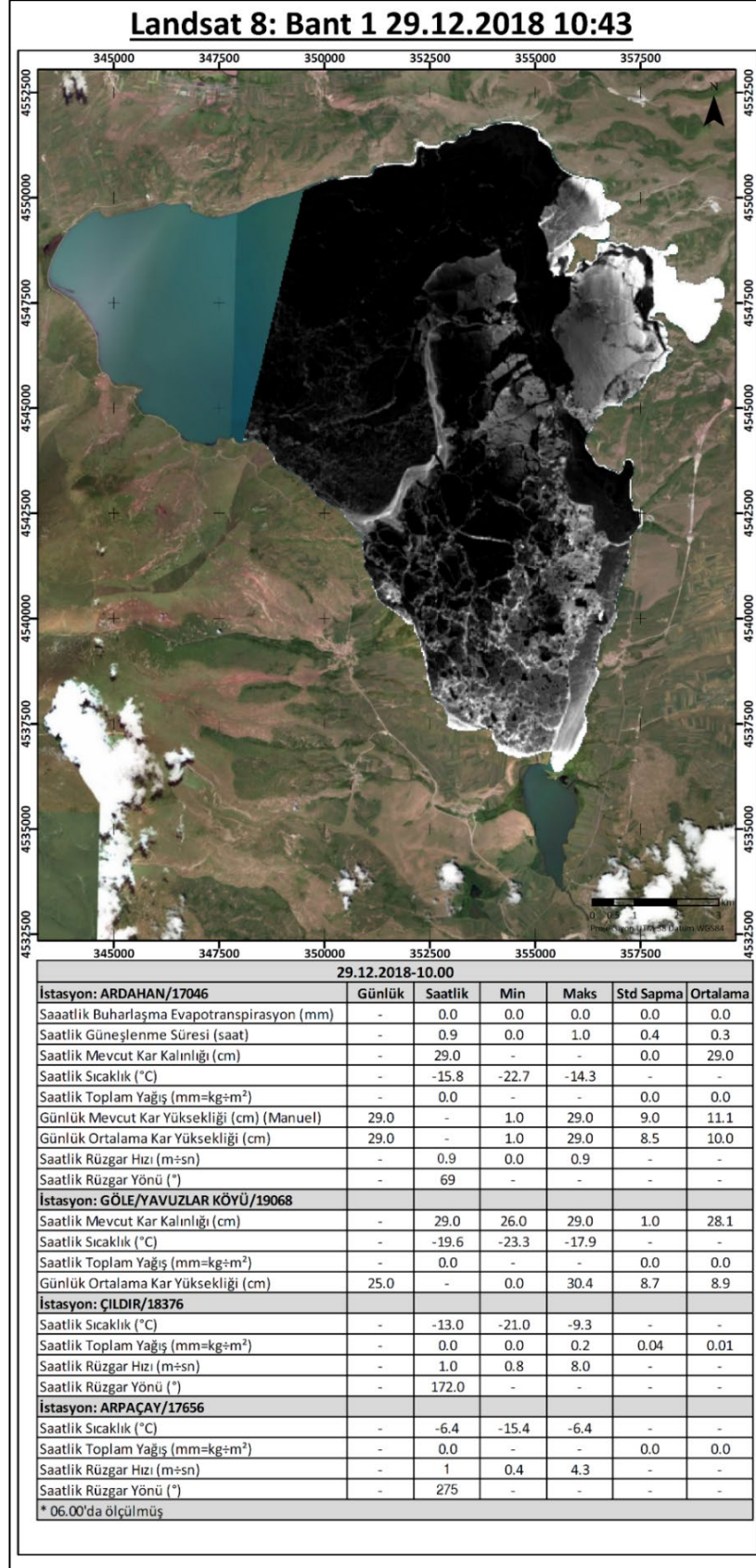
Tablo Ek I. Çıldır Gölü donma derece gün tablosu (devamı)

Yıl	Ay	Gün	Sıcaklık			Donma Derece Gün	Toplam Donma Derece Gün
			Min.	Maks.	Ortalama		
2017	1	9	-11	0,4	-5,4	5,4	430,8
2017	1	10	-13,1	-0,9	-6,3	6,3	437,1
2017	1	11	-16,4	-2,4	-10,2	10,2	447,3
2017	1	12	-25,5	-9	-17,6	17,6	464,9
2017	1	13	-21,4	-5,3	-13,7	13,7	478,6
2017	1	14	-24,1	-7,9	-14,8	14,8	493,4
2017	1	15	-15,9	-4,9	-10,8	10,8	504,2
2017	1	16	-22,1	-3,8	-15,1	15,1	519,3
2017	1	17	-19,4	-1,7	-10,2	10,2	529,5
2017	1	18	-17,6	-2,4	-11,4	11,4	540,9
2017	1	19	-13	-2,1	-8,8	8,8	549,7
2017	1	20	-11,6	-3	-8,2	8,2	557,9
2017	1	21	-19,6	-4,2	-10,7	10,7	568,6
2017	1	22	-16,8	-4,6	-10,9	10,9	579,5
2017	1	23	-20,5	-6,9	-12,3	12,3	591,8
2017	1	24	-30	-7	-20	20	611,8
2017	1	25	-11,6	-5,3	-8,9	8,9	620,7
2017	1	26	-8,1	-3,8	-6	6	626,7
2017	1	27	-12,8	-5	-9,5	9,5	636,2
2017	1	28	-14,9	-9,8	-11,6	11,6	647,8
2017	1	29	-16,9	-8,2	-12,5	12,5	660,3
2017	1	30	-16	-9,7	-12,7	12,7	673
2017	1	31	-18,4	-8,1	-12,1	12,1	685,1
2017	2	1	-18,4	-8,1	-12,1	12,1	697,2
2017	2	2	-15,6	-8,8	-12,1	12,1	709,3
2017	2	3	-17,9	-7,5	-12,4	12,4	721,7
2017	2	4	-14,8	-1,5	-9,2	9,2	730,9
2017	2	5	-16	-4,1	-9,8	9,8	740,7
2017	2	6	-13,7	-2,1	-8,9	8,9	749,6
2017	2	7	-19,5	-3,7	-11,7	11,7	761,3
2017	2	8	-20,6	-4,5	-12,9	12,9	774,2
2017	2	9	-21	-1,5	-12	12	786,2
2017	2	10	-13,3	-1,9	-7,3	7,3	793,5
2017	2	11	-7,8	-0,3	-4,9	4,9	798,4
2017	2	12	-19,4	-4,9	-12,7	12,7	811,1
2017	2	13	-30,8	-11	-21,9	21,9	833
2017	2	14	-29,3	-9,3	-18,6	18,6	851,6
2017	2	15	-25,5	-9,5	-16,9	16,9	868,5
2017	2	16	-25,9	-7,9	-16,3	16,3	884,8
2017	2	17	-25,7	-6,2	-15,7	15,7	900,5
2017	2	18	-20,2	-7,7	-14,4	14,4	914,9

Tablo Ek I. Çıldır Gölü donma derece gün tablosu (devamı)

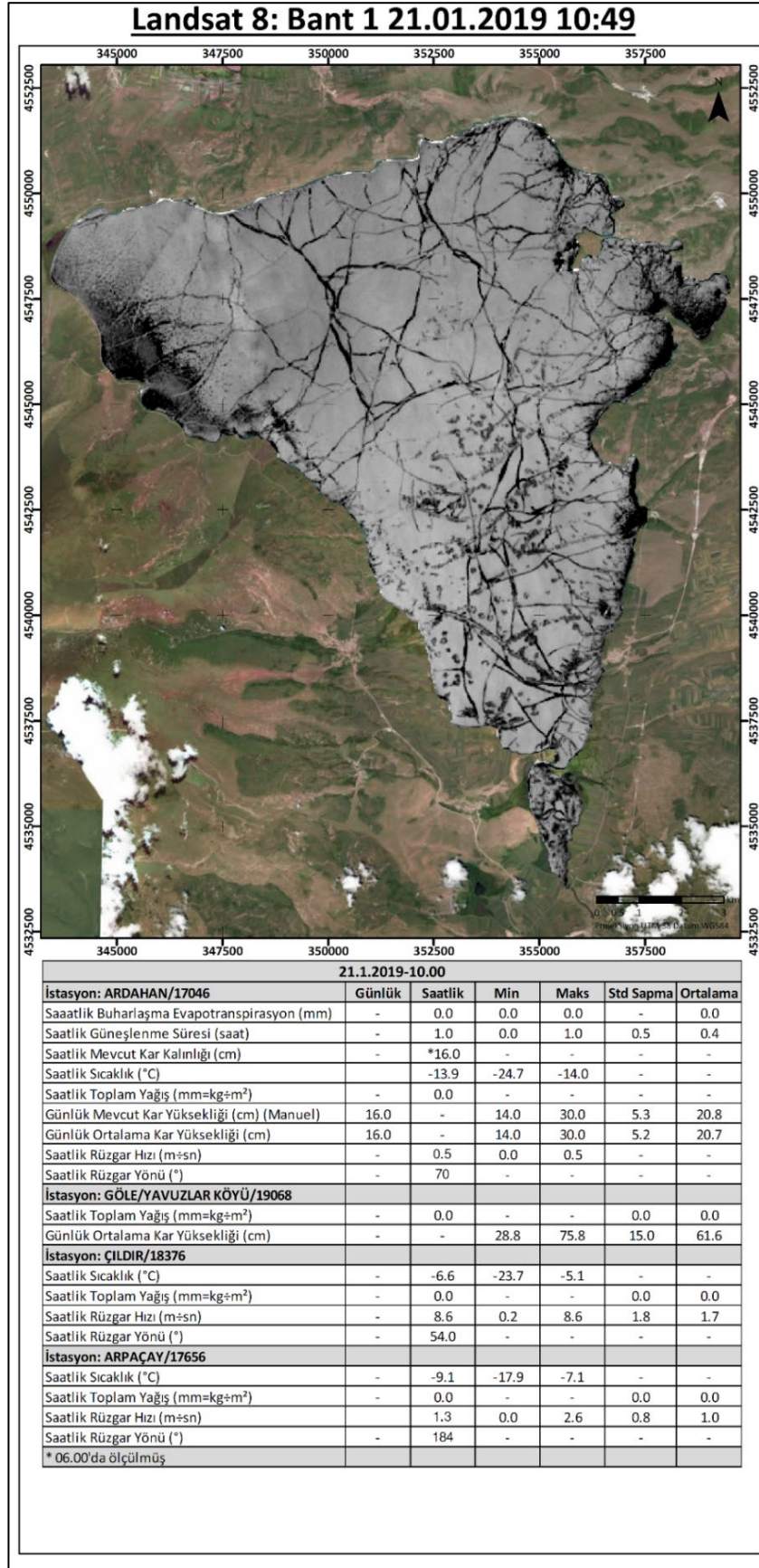
Yıl	Ay	Gün	Sıcaklık			Donma Derece Gün	Toplam Donma Derece Gün
			Min.	Maks.	Ortalama		
2017	2	19	-31	-10,8	-20,4	20,4	935,3
2017	2	20	-24	-7,3	-17	17	952,3
2017	2	21	-27,5	-5,1	-17,7	17,7	970
2017	2	22	-24,1	-5,5	-15,2	15,2	985,2
2017	2	23	-20	-0,9	-11,5	11,5	996,7
2017	2	24	-13,8	0,6	-5	5	1001,7
2017	2	25	-15,4	4,4	-5,4	5,4	1007,1
2017	2	26	-16,2	-0,1	-8,3	8,3	1015,4
2017	2	27	-16,8	3,7	-8	8	1023,4
2017	2	28	-11,2	0,3	-6	6	1029,4
2017	2	29	-8,9	1,6	-4,2	4,2	1033,6

EK II



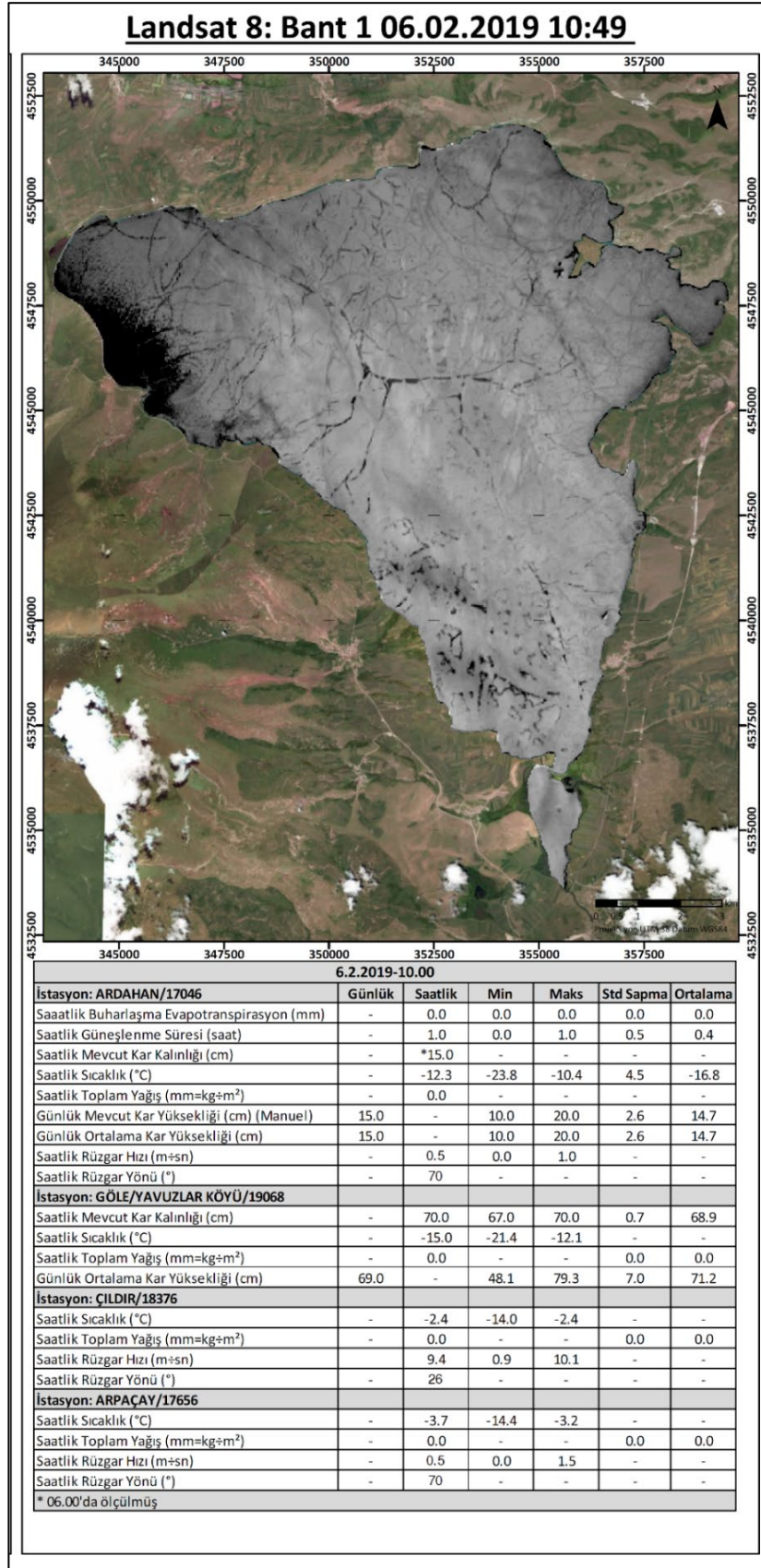
Şekil Ek I. 2018 Aralık ayına ait B1 bandı ile oluşturulmuş donmuş göl yüzeyi

EK III



Şekil Ek III. 2019 Ocak ayına ait B1 bandı ile oluşturulmuş donmuş göl yüzeyi

EK IV



Şekil Ek III. 2019 Şubat ayına ait B1 bandı ile oluşturulmuş donmuş göl yüzeyi